

**BALLAST ELEKTRONIK LAMPU JENIS HIGH PRESSURE SODIUM (HPS)
BERTOPOLOGI INVERTER SETENGAH JEMBATAN RESONAN SERI
FREKUENSI TINGGI DENGAN MIKROKONTROLER ATMEGA8535**

Dhika Arya Nugraha¹, Agung Warsito², Karnoto²
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang, Semarang 50275
email : dhe2_dhika@yahoo.com

ABSTRACT

High pressure sodium lamps are efficient and widely used in lighting for outdoor lighting such as street lighting. To turn on the lights of this type, it takes an additional device called a ballast. Right now there are many that use electromagnetic ballasts. Electromagnetic ballasts are more simple, but the weakness are low $\cos \phi$, low efficiency, as well as weight and size are great.

The use of electronic ballasts to overcome this problem. In this final project created an electronic ballast using resonant inverter series half-bridge topology with switching devices using mosfet, where the inverter operates at the condition of Zero Voltage Switching (ZVS) with a nominal frequency above the resonant frequency. Ballast output power settings done by changing the frequency of triggers, so that ballast can be adjusted this dimming. Setting of frequency triggers using microcontroller ATmega8535, thus dimming can be done automatically.

Ballasts that have been designed, can be arranged in four conditions: the initial conditions where the light is optimal for 320lux with a height of 3 meters, lights dimmed for 170lux with a height of 3 meters, lights came back on the optimal and the last lights went out. conditions took place automatically according to settings entered for 24 hours. optimal light ballast input power required for 150watt to operate at a frequency of 22kHz. Setting the output power is done by adding ballast switching frequency.

Key words: *electronic ballast, resonant inverter, Zero Voltage Switching (ZVS), dimming, microcontroller ATmega8535*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan penerangan jalan sangat penting bagi pengguna jalan pada kondisi malam hari dan kondisi berkabut. Lampu sodium bertekanan tinggi atau *High Pressure Sodium (HPS)* merupakan lampu yang sering dipilih sebagai penerangan di luar ruangan. Lampu jenis ini menghasilkan cahaya pancar yang dapat memberikan penerangan pada kondisi berkabut^[1]. Kondisi penerangan jalan saat ini, besar intensitas cahaya tidak disesuaikan dengan kondisi pengguna jalan sehingga terjadi pemborosan energi pada saat kondisi jalan lengang. Selain itu diperlukannya *timer* tambahan untuk mengatur waktu nyala dan padam.

Lampu jenis sodium bertekanan tinggi membutuhkan beberapa rangkaian dan komponen tambahan, seperti *ballast* untuk mengatur arus yang melewati lampu^{[1][2]}. Jenis lampu sodium bertekanan tinggi sebagian besar masih memakai *ballast* konvensional, yakni *ballast* elektromagnetik. *Ballast* elektromagnetik memang lebih sederhana dalam penggunaannya, akan tetapi memiliki kelemahan dalam efisiensi, serta ukuran dan berat.

Tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah membuat alat berupa *ballast* elektronik. Dengan menggunakan prinsip pembatasan arus, *ballast* elektronik ini dapat mengatur besar intensitas cahaya keluaran sehingga pemborosan energi dapat ditekan^[1]. Dengan memanfaatkan keberadaan dari mikrokontroler maka dapat digunakan sebagai frekuensi pemunculan sekaligus dapat diatur peredupan lampu secara otomatis sesuai *setting* yang dimasukkan.

Ballast elektronik yang dirancang berupa *inverter* resonan seri topologi setengah jembatan dengan piranti pensaklarannya menggunakan mosfet, dimana *inverter* beroperasi pada kondisi *zero voltage switching (ZVS)*. Pengaturan daya keluaran *ballast* dapat dilakukan dengan mengatur besar frekuensi pemunculan, sehingga balas dapat diatur peredupannya.

1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Merancang *ballast* elektronik berupa *inverter* resonan seri setengah jembatan frekuensi tinggi pada kondisi *zero voltage switching* dengan sumber 220V 50Hz;

2. Mengetahui karakteristik perubahan frekuensi pemunculan terhadap perubahan daya keluaran *ballast* elektronik yang dibuat;
3. Mengetahui karakteristik perubahan cahaya (*dimmer*) yang dilakukan pada berbagai frekuensi kerja secara otomatis dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535;
4. Mengetahui faktor daya dan harmonisa arus dari *ballast* elektronik yang dibuat.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibatasi oleh :

- a. Rangkaian daya yang digunakan berupa *inverter* frekuensi tinggi topologi setengah jembatan dengan mosfet sebagai komponen pensaklarannya;
- b. *Inverter* beroperasi pada kondisi ZVS (*Zero Voltage Switching*);
- c. Tidak membandingkan kondisi operasi ZVS dan ZCS (*Zero Current Switching*);
- d. ATmega8535 digunakan untuk menghasilkan frekuensi pemunculan sesuai penjadwalan yang dapat diatur;
- e. Pembahasan tentang *coding* pada mikrokontroler ATmega8535 tidak dibahas secara detail;
- f. Beban lampu yang digunakan adalah lampu sodium bertekanan tinggi (*High Pressure Sodium*) merek Phillips dengan daya 150Watt;
- g. *Ballast* elektronik yang dibuat tidak memiliki *EMI (Electromagnetic Interference)* filter dan *power factor correction*;
- h. Tidak membahas efek resonansi akustik (*acoustic resonance*) dan pengaruhnya terhadap karakteristik Lampu sodium bertekanan tinggi (*High Pressure Sodium Lamp*).

II. DASAR TEORI

2.1 Ballast Elektronik^[2]

Ballast elektronik merupakan konverter elektronika daya untuk mensuplai *discharge lamp*. *Ballast* elektronik menjadi populer setelah perkembangan mosfet berdaya besar dan relatif murah. Dengan kemampuan mosfet membuat implementasi pemakaian *ballast* elektronik menjadi lebih mudah.

^[1] Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip ^[2] Dosen Jurusan Teknik Elektro Undip

2.1.1 Bagian Ballast Elektronik

1. Konverter AC- DC

Biasanya berupa penyearah jembatan penuh dengan diode dan difilter dengan kapasitor. Penyearahan yang sederhana ini menimbulkan faktor daya rendah di sisi sumber.

3 Ballast elektronik berupa *Inverter* frekuensi tinggi

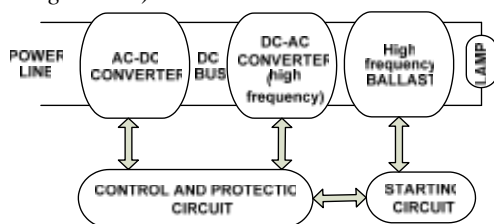
Bagian ini berguna untuk mensuplai lampu dengan tegangan berfrekuensi tinggi. *Inverter* membangkitkan gelombang frekuensi tinggi dan *ballast* digunakan untuk membatasi arus ketika *discharge*. Induktor dan kapasitor dapat digunakan untuk fungsi tersebut. Kelebihan frekuensi kerja yang tinggi adalah ukuran induktor dan kapasitor dapat didesain dengan ukuran yang kecil dan ringan

4 Starting circuit

Lampu *discharge* tekanan tinggi dibutuhkan tegangan yang tinggi untuk menyalakan lampu, dan dibutuhkan rangkaian penyalan yang terpisah, terutama jika digunakan untuk *starting* lampu pada saat kondisi lampu masih panas karena operasi nyala lampu yang sebelumnya.

5 Rangkaian kontrol dan proteksi

Bagian ini termasuk *oscillator* utama, *error amplifier* untuk mengatur arus lampu, proteksi tegangan keluaran yang berlebihan, *timer* untuk mengontrol waktu penyalan, proteksi arus lebih, proteksi kegagalan lampu, dan lain-lain. Hal ini dapat didesain dengan rangkaian yang sederhana seperti *ballast* yang berosilasi sendiri (*self oscillating ballast*).



Gambar 2.1 Blok Diagram Umum Ballast Elektronik

2.1.2 Klasifikasi Topologi Ballast Elektronik

Dalam perancangan tugas akhir ini digunakan topologi *resonant ballast*

2.1.2.1 Resonant Ballast^[9]

Ballast jenis ini menggunakan *resonant tank* untuk mensuplai lampu. *resonant tank* akan memfilter harmonisa pada orde tinggi, sehingga arus yang melalui lampu mendekati sinusoida. Dalam perancangan tugas akhir ini, digunakan *resonant ballast* bertopologi *voltage-fed*.

1. Voltage Fed Resonant Ballast

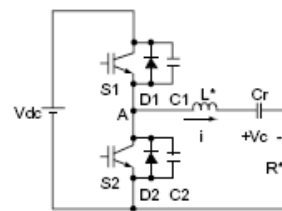
Rangkaian disuplai oleh tegangan DC hasil dari penyearahan tegangan AC saluran jala-jala. Tegangan dengan bentuk kotak didapat dari pensaklaran komponen mosfet dengan *duty cycle* 50%, dan digunakan untuk mensuplai rangkaian resonan yang dipasang seri. Rangkaian resonan memfilter tegangan atas dan mensuplai lampu dengan tegangan sinusoida. Macam topologi *voltage fed resonant ballast* sebagai berikut

- Topologi *half bbridge*
- Topologi *full bridge*
- Topologi *push pull*

2.2 Half Bridge Series Resonant Inverter

Rangkaian *inverter* setengah jembatan resonan seri terdiri dari dua buah saklar, induktor resonansi (L_r), kapasitor resonansi (C_r). Arus pada rangkaian akan mencapai nilai maksimal ketika frekuensi sumber sama dengan frekuensi resonansi dan akan semakin berkurang jika frekuensi sumbernya ditambah atau dikurangi. Ketika frekuensi lebih

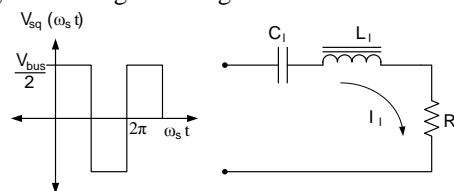
rendah dari frekuensi resonansi, reaktansi induktif akan lebih kecil. Karena reaktansi lebih bersifat kapasitif, arus akan lebih tinggi dan tegangan akan lebih kecil. Jika frekuensi dinaikkan, reaktansi akan bersifat induktif sehingga arus akan lebih kecil dan tegangan akan naik.



Gambar 2.2 Series Resonant Inverter

2.3 Zero Voltage Switching (ZVS) pada Inverter Setengah Jembatan Resonansi Seri

Zero Voltage Switching adalah pensaklaran dengan frekuensi di atas frekuensi resonansi ($f > f_0$). ZVS dapat menghilangkan rugi *turn on* kapasitif dan cocok digunakan untuk operasi pada frekuensi yang tinggi karena ZVS beroperasi pada kontrol *turn-off* yang konstan. Tegangan keluaran *inverter* setengah gelombang adalah setengah dari V_{DC} dengan bentuk gelombang kotak.



Gambar 2.3 Rangkaian Resonansi Seri dengan Masukkan Gelombang Kotak dari Inverter

Gelombang kotak yang dihasilkan *inverter* dikopling ke beban melalui blocking C_1 dan induktor L_1 untuk mengatur arus yang melalui beban (R_1). Daya yang disalurkan ke beban (R) Pada gambar 2.3 dapat dihitung dengan :

$$P_l = \frac{2V_{bus}^2 R_l}{\pi^2 \left[\left(\omega_s L_l - \frac{1}{\omega_s C_l} \right)^2 + R_l^2 \right]} \quad (1)$$

Dengan $\omega_s = 2\pi f_s$, f_s adalah frekuensi pensaklaran. Sehingga untuk mengatur daya dapat dilakukan dengan mengatur besarnya frekuensi pensaklaran. Semakin besar frekuensi pensaklaran, maka daya keluaran akan semakin kecil dan sebaliknya, semakin kecil frekuensi pensaklaran, maka daya keluaran semakin besar.

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Perancangan Perangkat Keras (*hardware*)

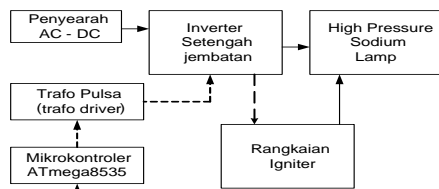
Perancangan perangkat keras dalam pembuatan tugas akhir ini semuanya tertuju pada perancangan bagian-bagian dari *ballast* elektronik, diantaranya :

1. Perancangan suplai rangkaian kontrol dan rangkaian daya;
2. Perancangan *inverter* setengah jembatan;
3. Perancangan rangkaian *igniter*;
4. Perancangan rangkaian kontrol dan *driver*.

3.1.1 Pertimbangan dalam Mendesain Ballast Elektronik

1. Frekuensi kerja
2. Bentuk gelombang
3. Prosedur *starting* lampu
4. *Dimming*

Skema blok perancangan alat dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut :



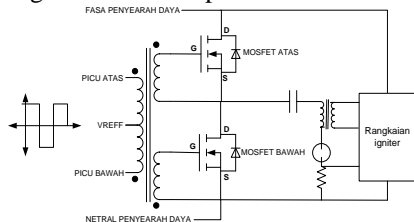
Gambar 3.1 Diagram Blok *Ballast Elektronik*

3.1.2 Perancangan *Power Supply*

Power supply pada *ballast elektronik* ini ada dua, yakni penyearah satu fasa untuk suplai rangkaian daya dan untuk rangkaian kontrol. Suplai AC satu fasa yang digunakan berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220V dengan frekuensi 50Hz.

3.1.3 Rangkaian *Inverter Setengah Jembatan*

Rangkaian daya yang digunakan untuk mensuplai lampu *High Pressure Sodium* adalah *inverter* setengah jembatan dengan mosfet sebagai piranti pensaklarannya. *Inverter* dipilih karena lampu akan lebih lama umur pemakaiannya jika pada kedua elektroda tabungnya *discharge* secara bergantian dengan gelombang yang simetris. Gelombang kotak yang dihasilkan oleh *inverter* disuplai ke lampu melalui *blocking* kapasitor dan induktor yang dipasang seri untuk mengontrol arus lampu.



Gambar 3.2 Rangkaian *Inverter Resonan Setengah Jembatan*

3.1.3.1 Langkah desain *inverter*

Langkah-langkah perancangan *inverter* setengah jembatan resonansi seri sebagai berikut

- Memilih frekuensi pensaklaran nominal (F_{snom}) sebagai acuan sesuai dengan *range* frekuensi operasi yang diinginkan, dan disesuaikan kemampuan mosfet dan material magnetik, dan memperhatikan *range* frekuensi untuk *dimmer*. Dalam hal ini dipilih frekuensi sekitar 22Khz.
- Menghitung resistansi (R_l) Lampu sodium bertekanan tinggi (*High Pressure Sodium Lamp*) pada frekuensi 50Hz. Dengan :

$$R_l = \frac{P_l}{I_{rms}^2} = \frac{150}{1.8^2} = 46.3 \Omega$$

- Menghitung parameter A, sebagai parameter desain :

$$A^* = \sqrt{\frac{2V_{bus}^2}{\pi^2 R_l P_l} - 1}$$

$$A^* = 1.3$$

- Memilih $\omega_s C_l R_l$ dari gambar 3.3

$$\omega_s C_l R_l \approx 1.5$$

- Menghitung kapasitor blocking C_l dari nilai $\omega_s C_l R_l$ yang telah dipilih

$$\omega_s C_l R_l = 1.5$$

$$C_l = 224,69 \text{ nf}$$

Digunakan kapasitor 220nf yang setelah diukur besarnya 202,2nf

- Memilih $\omega_s L_l / R_l$ dari gambar 3.3 dari $\omega_s C_l R_l$ yang telah dipilih dan nilai A^* yang telah dihitung.

Menurut perhitungan :

$$\frac{\omega_s L_l}{R_l} = A^* + \frac{1}{\omega_s C_l R_l}$$

$$\frac{\omega_s L_l}{R_l} = 1,35 + \frac{1}{1,5}$$

$$\frac{\omega_s L_l}{R_l} = 2,02$$

Setelah di plot pada grafik, maka nilai $\omega_s L_l / R_l$ adalah 2,02

- Menghitung induktansi L_l dari nilai $\omega_s L_l / R_l$ yang didapat

$$\frac{\omega_s L_l}{R_l} = 2,02$$

$$L_l = 676,94 \mu H$$

Sehingga induktor yang diperlukan adalah sebesar 0,677 mH. Realisasi induktor setelah didesain didapatkan induktansi sebesar 0,706mH.

- Mengecek kembali frekuensi resonansi setelah didapatkan nilai C dan L yang aktual. Untuk mendapatkan *zero voltage switching*, frekuensi pensaklaran (ω_s) seharusnya di atas frekuensi resonansi (ω_o) yakni,

$$\omega_s > \omega_o$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,706 \cdot 10^{-3} \cdot 202 \cdot 10^{-9}}}$$

$$f = 13.334,06 \text{ hz}$$

Sehingga frekuensi nominal untuk pensaklaran *inverter* di atas 13.334,05hz dan frekuensi yang dipilih 22Khz.

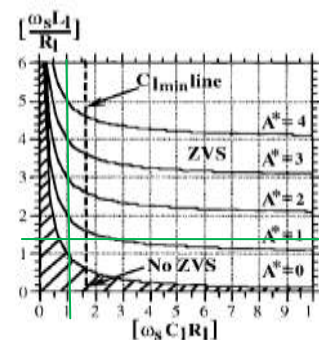
- Menghitung perbandingan lilitan (n):

$$n = \frac{V_{ig}}{V_{BUS}}$$

Dimana $V_{ig} \approx 1.3 V_{lamp}$ karena pada praktiknya, tegangan *spike* akan lebih rendah dari pada perhitungan teori.

$$n = \frac{V_{ig}}{V_{BUS}}$$

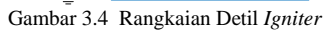
$$n = \frac{1,3 \cdot 4000}{311,13} = 18,8 \approx 19$$



Gambar 3.3 Grafik Panduan dalam Mendesain ZVS

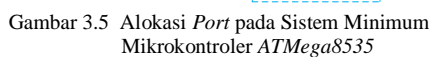
3.1.4 Perancangan Rangkaian *Igniter*

Proses *starting* lampu sodium tekanan tinggi membutuhkan pulsa tegangan 3,5KV sampai dengan 4,5KV. Lonjakan pulsa tegangan tinggi ini dibangkitkan oleh *igniter*. Prinsip *igniter* ini dengan memanfaatkan arus pengosongan kapasitor oleh SCR, dimana SCR dipicu oleh DIAC. Arus pengosongan dinaikkan tegangannya oleh trafo *step-up* yang sekaligus berfungsi sebagai L resonan.



Tabel 3.1 Penggunaan *Port* pada Atmega8535

PORT	ATMEGA8535	Fungsi
Port A	PORTA.0 – PORTA.7	Seven segment
Port B	PORTB.0- PORTB.7	Seven segment
Port C	PORTC.0 dan PORTC.1 PORTC.4	Output gelombang pemicuan inverter Output ke rele rangkaian <i>supply</i> inverter
Port D	PORTD.7	Push button




Gambar 3.6 Alokasi *Port* untuk *Seven Segment*

Unit masukan berfungsi untuk memberikan nilai bagi parameter pengontrolan waktu (penjadwalan) pemilihan frekuensi gelombang pemicuan *inverter*. Port D.0 dan Port

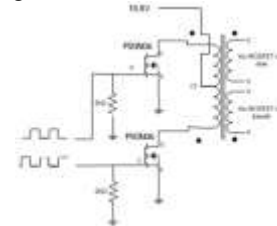
GROUND

PORT D.7



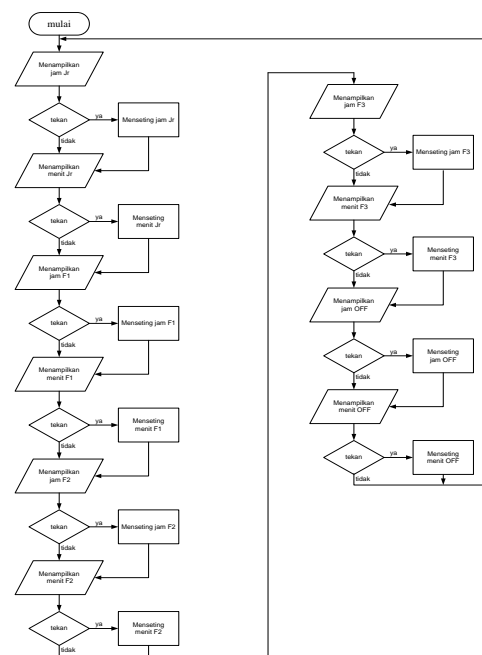
Gambar 3.7 Alokasi *Port* untuk *Seven Segment*

Transformator Pulsa merupakan sebuah transformator yang difungsikan untuk men-*drive* mosfet (sebagai saklar) yang digunakan pada rangkaian *inverter*. Rangkaian *driver* dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Driver* Mosfet dengan Menggunakan Transformator Pulsa

Berikut ini merupakan bagan *flowchart* perancangan perangkat lunak sistem.



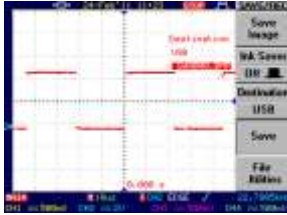
Gambar 3.9 *Flowchart* Perancangan Perangkat Lunak Sistem

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian dan analisa yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah pengujian terhadap *hardware* dan *software* pada sistem secara keseluruhan.

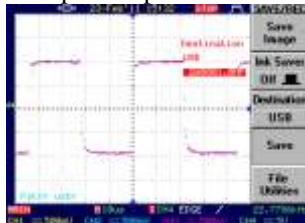
4.1 Pengujian Sinyal Pemicuan dan Keluaran Driver

Sinyal pemicuan mosfet merupakan sinyal kotak yang dihasilkan oleh *PinC.0* dan *PinC.1* yang memiliki bentuk saling berkebalikan.



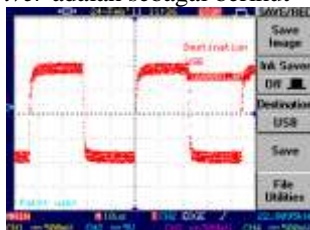
Gambar 4.1 Sinyal Keluaran Mikrokontroler ATmega8535 Untuk Salah Satu Sisi

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa keluaran dari mikrokontroler ATmega8535 sudah sesuai dengan yang diharapkan yaitu berupa gelombang kotak. Sinyal pemicuan dari mikrokontroler ATmega8535 ini selanjutnya dilewatkan ke rangkaian *driver* dan keluaran dari *driver* ini yang akan memicu *gate* mosfet. Gambar di bawah ini merupakan gambar sinyal masukkan trafo *driver*, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah sinyal pemicuan sudah bergantian *on-off* untuk memicu mosfet pada tiap sisi atas dan bawah.



Gambar 4.2 Sinyal Masukkan Driver Mosfet antara Sinyal Mosfet Atas dan Sinyal Mosfet Bawah

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa sinyal pemicuan mosfet sudah saling bergantian *on-off*. Sedang pada sisi keluaran trafo *driver* adalah sebagai berikut



Gambar 4.3 Sinyal Keluaran Driver Mosfet untuk Salah Satu Sisi

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa gelombang kotak keluaran *driver* memiliki tegangan keluaran yang dihasilkan 10V untuk sisi positifnya dan -10V untuk sisi negatifnya.

4.2 Pengujian Dimmer Lampu

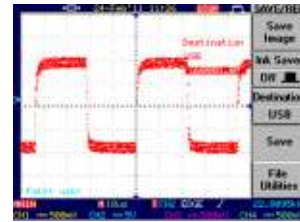
Ballast elektronik didesain dapat mengatur intensitas cahaya lampu (*dimmer*). Besar kecilnya frekuensi yang dihasilkan oleh mikrokontroler ATmega8535 mempengaruhi daya keluaran *inverter*, sehingga berpengaruh juga terhadap pencahayaan yang dihasilkan oleh lampu. Pendimeran lampu diatur secara otomatis sesuai *setting* waktu yang dimasukkan. Dalam perancangan, didesain ke dalam empat kondisi frekuensi yaitu :

- Frekuensi 22Khz (F1), yaitu frekuensi untuk kondisi lampu menyala optimal (100%);
- Frekuensi 32Khz (F2), yaitu frekuensi untuk kondisi lampu menyala setengah dari optimal (50%);
- Frekuensi 22Khz (F3), yaitu frekuensi untuk kondisi lampu menyala optimal kembali;

d. Frekuensi 0Khz (OF), yaitu frekuensi untuk kondisi lampu padam.

4.2.1 Kondisi F1

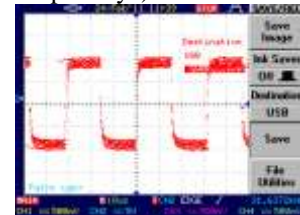
Kondisi ini merupakan kondisi awal (menyala optimal). Dari gambar 4.4 terlihat bahwa gelombang yang dihasilkan berupa gelombang kotak dengan frekuensi sebesar 22,81kHz.



Gambar 4.4 Sinyal Hasil Pemicuan 22kHz pada Mosfet

4.2.2 Kondisi F2

Kondisi ini merupakan kondisi peredupan (menyala setengah dari kemampuannya).

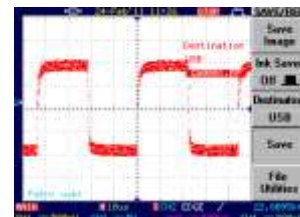


Gambar 4.5 Sinyal Hasil Pemicuan 31kHz pada Mosfet

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa gelombang yang dihasilkan berupa gelombang kotak dengan frekuensi sebesar 31,63kHz.

4.2.3 Kondisi F3

Kondisi ini merupakan kondisi kembali menyala optimal.

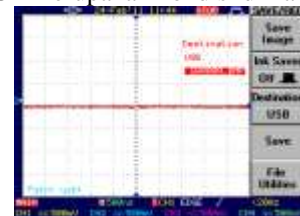


Gambar 4.6 Sinyal Hasil Pemicuan 22kHz pada Mosfet

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa gelombang yang dihasilkan berupa gelombang kotak dengan frekuensi sebesar 22,81kHz.

4.2.4 Kondisi OF

Kondisi OF merupakan kondisi dimana lampu padam.



Gambar 4.7 Sinyal Hasil Pemicuan 0kHz pada Mosfet

Dari gambar 4.7 hasil pemicuan V_{gs} mosfet menunjukkan frekuensi gelombang yang dihasilkan sebesar 0Khz. Dengan tidak adanya pemicuan (frekuensi 0Khz) maka *inverter* tidak bekerja sehingga lampu padam. Untuk mencegah kondisi *ignite* maka ditambah rele yang berfungsi memutus jalur suplai *inverter*. Sehingga rangkaian *igniter* tidak mendapatkan tegangan.

4.3 Pengujian Pengukuran Daya dan Efisiensi

Pengukuran daya bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi pensaklaran mosfet terhadap daya keluaran *inverter* yang masuk ke lampu, dan untuk mengetahui

efisiensi *ballast* elektronik. Pada frekuensi 22kHz adalah daya maksimal yang telah didesain. Pada frekuensi 22,81Khz dengan nilai $L = 0,713\mu H$ dan $C=202,2nF$ maka daya keluaran yang diharapkan pada saat perancangan adalah:

$$P_i = \frac{2V_{bus}^2 R_i}{\pi^2 \left[\left(\omega_s L_i - \frac{1}{\omega_s C_i} \right)^2 + R_i^2 \right]}$$

$$P_i = \frac{2 \cdot (311,13)^2 \cdot 46,3}{3,14^2 \left[\left(2\pi \cdot 22,81 \cdot 10^3 \cdot 0,713 \cdot 10^{-3} - \frac{1}{2\pi \cdot 22,81 \cdot 10^3 \cdot 202,2 \cdot 10^{-9}} \right)^2 + 46,3^2 \right]}$$

$$P_i = 135,39 \text{ Watt}$$

Hasil pengukuran gelombang tegangan dan arus dengan menggunakan osiloskop didapatkan data sebagai berikut :



a.



b.

Gambar 4.8 a. Gelombang Tegangan Terminal Lampu pada Frekuensi 22Khz
b. Gelombang Arus Lampu pada Frekuensi 22Khz

Pada gambar 4.8 a tegangan rms pada terminal lampu adalah 722mV, karena pengukuran dilakukan dengan pelindung probe osiloskop dengan skala 100:1 maka tegangan rms terminal lampu adalah 72,2V. Pada gambar 4.9.b. Menunjukkan tegangan rms yang melewati resistor pengukuran sebesar 0,151 ohm sehingga arus lampu adalah:

$$I_{rms} = \frac{282mV}{0,151\Omega} = 1,864A$$

Sifat lampu sodium bertekanan tinggi ketika disuplai oleh tegangan dengan frekuensi tinggi adalah resistif, sehingga daya pada lampu adalah:

$$P = 72,2 \times 1,864 = 134,6 \text{ Watt}$$



Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Daya Masukan *ballast* dengan *Power Quality Analyser*

Efisiensi *ballast* pada frekuensi 22 KHz adalah :

$$\eta = \frac{134,6}{147} \times 100 = 91,56\%$$

Tabel 4.1 Efisiensi pada Setiap Frekuensi *Dimmer*

No	Frekuensi	P Input	P Out	Efisiensi
1	22kHz	147Watt	134,6Watt	91,56%
2	31kHz	93Watt	89,0Watt	95,7%

Inverter yang telah dibuat juga dilakukan pengujian kekonstanan konsumsi daya masukan dari *inverter* dan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *inverter*. Dalam tugas akhir ini, pengujian konstanan *inverter* dilakukan dengan menyalakan *ballast* elektronik yang sudah dibuat selama enam hari tanpa putus. Parameter data yang diambil yakni daya masukan *ballast* dan tegangan keluaran *inverter* (tegangan pada lampu). Pengambilan data daya masukan dengan menggunakan alat *Power Quality Analyser* sedang data tegangan keluaran dengan menggunakan osiloskop digital.

Data diambil tiap 2 jam sekali. Berikut ini data hasil pengujian daya masukan *inverter* dan tegangan keluaran *inverter*.

Dari hasil data dapat dilihat bahwa *inverter* yang dirancang memiliki daya masukan dan tegangan keluaran yang relatif konstan. Daya masukan dan tegangan keluaran *inverter* selama tujuh hari didapatkan rata-rata daya masukan sebesar 147,202watt dan tegangan keluaran sebesar 72,367volt.

4.4 Pengukuran *Power Factor* dan Harmonisa Arus dari *Inverter*

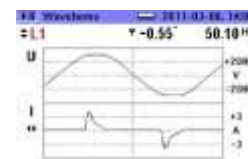
Pengujian *power factor* dilakukan untuk mengetahui besar *power factor* yang dihasilkan dari *inverter* yang dibuat. Selain *power factor*, harmonisa arus dari *inverter* yang dibuat juga diuji. Kedua pengujian dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan alat *power quality analyzer* yang dipasang pada sisi masukan *inverter*.



Gambar 4.10 Hasil Pengujian *Power Factor* dengan Menggunakan *Power Quality Analyzer*



Gambar 4.11 Hasil Pengujian Harmonisa Arus dengan Menggunakan *Power Quality Analyzer*



Gambar 4.12 Hasil Pengujian Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Masukan *Inverter* dengan Menggunakan *Power Quality Analyzer*

Dari gambar 4.11 *power factor* yang dihasilkan oleh *inverter* yang telah dibuat sebesar 0,520. Hal ini dikarenakan *inverter* yang dibuat tidak memiliki unit blok *power factor correction*, sehingga *power factor* yang dihasilkan relatif rendah. Sedang dari gambar 4.12 menunjukkan harmonisa arus sebesar 96,3%. Harmonisa arus yang terlalu tinggi menyebabkan bentuk gelombang arus masukan *inverter* tidak sinus murni seperti yang terlihat pada gambar 4.13. Harmonisa arus yang sangat tinggi ini disebabkan karena adanya penyearahan pasif secara langsung.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Inverter* resonan seri frekuensi tinggi yang dirancang memiliki tegangan masukan 220V 50Hz dengan tegangan keluaran AC 73V dengan frekuensi 22kHz 31kHz. Rangkaian pemucuan menggunakan mikrokontroler Atmega8535 dan rangkaian *driver* menggunakan trafo pulsa.
2. Daya keluaran *inverter* dapat diatur dengan mengatur frekuensi kerjanya. Daya maksimal (kondisi F1) dicapai ketika frekuensi 22kHz yaitu sebesar 134,6watt dan daya setengah maksimal dicapai ketika frekuensi 31kHz yaitu

sebesar 89watt. Pengujian kekonstanan *inverter* selama satu minggu *ballast* elektronik yang dirancang, didapatkan data rata-rata daya masukkan sebesar 147,202watt dan rata-rata tegangan keluaran sebesar 72,367volt.

3. Besar intensitas cahaya lampu yang dihasilkan bergantung pada besar frekuensi kerja. Semakin tinggi frekuensi kerja maka intensitas cahaya lampu yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada frekuensi 22kHz dihasilkan intensitas cahaya lampu sebesar 320lx. Pada frekuensi 31kHz dihasilkan intensitas cahaya lampu sebesar 170lx.
4. Dari hasil pengujian faktor daya dan harmonisa arus, *inverter* yang dibuat memiliki faktor daya sebesar 0,520 dan besar harmonisa arus sebesar 96,3%.

4.2 Saran

Saran yang dapat saya berikan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Ballast* elektronik menarik arus dengan harmonisa yang besar, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat digunakan unit *power factor correction*
2. Menggunakan topologi jembatan penuh untuk beban yang lebih tinggi, misalnya 250Watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Muhaimin, *Teknologi Pencerahan*, Penerbit Refika Aditama, Bandung: 2001
- [2.] *A Handbook of Lighting Installation Design Prepared by Members of Staff of Philips Lighting, Fifth Edition*, 1993
- [3.] Balogh Laszlo, *Design And Application Guide For High Speed MOSFET Gate Drive Circuits*.
- [4.] Hayt William H, Kemmerly Jack E, *Rangkaian listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996
- [5.] Lister, *Rangkaian dan Mesin Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
- [6.] Rashid M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [7.] Kazimierczuk Marian K, Czarkowski Darius, *Resonant Power Converter*, John Wiley and Sons, Inc.
- [8.] Heryanto, M. Ary & Ir. Wisnu Adi. P, *Pemrograman bahasa C Untuk Mikrokontroler ATMEGA 8535*, Andi Offset, Yogyakarta, 2008.
- [9.] Wardhana, Lingga, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATMEGA 8535*, Andi Offset, Yogyakarta, 2006.
- [10.] Sam Ben Yaakov and Michael Gulko, *Design and Performance of an Ballast for High Pressure Sodium (HPS) Lamps*, Departement of Electrical and Computer Engineering Ben-Gurion University of the Negev, Israel, 1995.
- [11.] -----, *AN9012 : Induction Heating System Topology Review*, Fairchild semiconductor, 2000.
- [12.] Wong Fu Keung, *High Frequency Transformer for Switching Mode Power Supply*, School of Microelectronic Engineering, Faculty of Engineering and Information Technology, Griffith University, Brisbane, Australia. 2004.
- [13.] Sippola Mika, *Developments for the High Frequency Power Transformer Design and Implementation*.
- [14.] Wildi Toldore. *Electrical Machine, Driver, and Power Systems*, Prentice-Hall International Inc, 1981.
- [15.] <http://www.wikipedia.org>
- [16.] <http://www.skf.com>

BIODATA



Dhika Arya Nugraha (L2F606019)
Dilahirkan di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, pada tanggal 17 Mei 1988. Menempuh pendidikan SDN Ungaran 06, SLTP N 2 Ungaran, SMA N 1 Ungaran, dan sekarang sedang menempuh pendidikan di Universitas Diponegoro Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Ketenagaan.

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP 195806171987031002

Karnoto, ST, MT
NIP 196907091997021001